農業氣象災害調查與防護技術
利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態
79-92, 2003

利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 80
一、前言 ---------- 80
二、由熱紅外線光譜影像遙測評估莧菜淹水狀態 ---------- 81
三、由輻射光譜遙測評估莧菜淹水狀態 ---------- 86
四、結語 ---------- 89
五、誌謝 ---------- 90
六、引用文獻 ---------- 90
ABSTRACT ---------- 92

利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本研究以輻射光譜及熱紅外線光譜影像說明光譜遙測技術評估農作物生長狀態的應用及限制，及其在監測莧菜淹水狀態上的利用。並結語只要作物植被的色澤、組織結構、組成分及生理代謝的表現影響其反射光譜特性時，無論係自身的生育進展或環境造成，均將反應在作物植被反射光譜的質與量變化，皆可利用輻射光譜遙測予以偵(檢)測。惟在限制因子的排除與拿捏，結果的解釋與應用上，仍仰賴研究人員的專業素養和具體實踐。

關鍵詞： 光譜遙測技術、莧菜、生產監測、淹水狀態。

一、前言

(一)利用光譜遙測技術評估農作物的生長狀態

田間自然狀況下農作物的生長，由於環境與土壤隨時空的改變，加上栽培管理條件的不同，以及生育的進展等因素，將產生空間的變異分佈。對廣大的農田面積而言，將可能因爲調查人力的不足，或時效上的要求，而無法在短期間完成對整個農田的監測與現況評估，只能以慣行方法進行栽培管理。於是，當逆境或災害發生的時候，或者臨時或緊急性的需要務必取得農作物生長狀態現況資訊時，將可能衍生力有未逮的遺憾。再者，由於未能對農田進行經常性的完整監測，僅能憑藉經驗及依據傳統的方法管理農田，相當程度需要”看天吃飯”。但在二十一世紀的精準農業發展方向，在在都需要針對農場各網格點(區)進行監測及必要的精準管理，若未能瞭解農作物現行的生長表現，即難以依照需求給予因應而適時的對應處理，如此將可能產生多餘資源浪費或投入不足的缺失。

爲配合廣大農田面積的觀測與監測，在精準農業體系則採行不同大氣尺度平台及功能的遙測技術(remote sensing technology, RS)，來擷取特定的資訊。這些特定資訊所顯示的空間變異分佈，展現出農田各地點農作物生長狀態的差異，也提供精準農業體系之決策系統憑以做出因應處理決策。遙測技術因其利用的電磁輻射(electromagnetic radiation)波段的不同，而有各種的分類與技術。本文將以紫外光至中紅外光範圍的輻射光譜(radiometric spectrum)及熱(遠)紅外光波段的熱紅外線光譜影像(thermal infrared imaging spectrum)等二項，介紹及說明如何利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態，俾識者能進一步瞭解光譜遙測技術的應用，如何藉由光譜遙測資訊評估情境的變化做出合理的判斷。

(二)莧菜的栽培問題

近年來隨著生活水準的提高，民眾極為注重養生保健，對蔬菜中礦物質、維生素及抗氧化物質的攝取需求大為增加。其中的葉菜類是臺灣地區民眾的主要蔬菜來源，依照 2001 年的農業統計年報資料，臺灣地區的蔬菜生產量從 1992 年的約 287 萬噸增加至 2001 年的約 305 萬噸，而一般的短期蔬菜(以葉菜類為大宗)即占 73%。莧菜(*Amaranthus mangostanus* L. 或稱 *A. tricolor* L.)是主要葉菜類蔬菜之一，俗稱莕菜、荇菜或莕菜不等，為莧屬一年生 C_4 型植物，臺灣地區周年皆可栽培。現行莧菜栽培有所謂硝酸鹽含量過高及氣象災害造成嚴重災情等二大問題，前者需要依靠良好的氮肥管理做法，維持植體內適當的氮素含量以避免刺激或促進生成超量硝酸鹽；後者則有賴氣象災害的預警、防護及復耕(育)作業的相互配合。為求復耕的及早啓動和相關措施的擬定，又必須借助於非破壞性的快速而大量檢測方法，協助解決莧菜的栽培問題。

光譜遙測技術(spectral remote sensing technique)係以非接觸式的物理感測方法偵測農作物植被的反射與放射光譜，經預建的光譜遙測模式或系統流程解讀出當時的遙測資訊，評估出田間農作物生育表現、營養狀態、病蟲害感染、或土壤肥力等現況。由於具有此等快速、非接觸、非破壞與彈性量測面積等諸多特點及特殊功能，光譜遙測技術可被利用來經營與管理農作物的常態栽培及遭受逆境、災害衝擊後的復建等工作，而且容許即時或及時的評估以採行適當因應對策(Barrett and Curtis, 1982)。本文即以莧菜淹水狀態為例加以說明，研究採用的品種為生長勢強旺的臺農一號，其歸屬於青莧(或稱白莧)，藉由植被反射輻射光譜與熱紅外線光譜影像量測，配以生長性狀與淹水危害調查，做出綜合分析和評估。

二、由熱紅外線光譜影像遙測評估莧菜淹水狀態

許多種類的植物生長皆屬於溫感性(thermoperiodic)，通常在溫暖的白天獲得較快速的生長，而在冷涼的夜間生長緩慢或停滯，這同時也反應出環境因子對生長的干擾(Berry and Raison, 1981; Ellis *et al.*, 1992; Hodges, 1991; Johnson and Thornley, 1985)。另一方面當農作物因著生理代謝、周遭氣溫改變、或環境變異(如缺水、淹水、病蟲害感染、光照等)的作用時，經常會出現植體溫度的變化。因為這些內在或外在因子可能影響根系對水分的吸收與轉運，促進抑或降低常態蒸散作用(transpiration)的進行，造成植體水分平衡的失調而引起體溫的升降。所以，可以藉由對農作物植被溫度變化的長期追蹤，偵測從常態至逆境(災害)發生的轉折過程，更可以因此探索逆境的進展及植體的相對反應，並管理植體的水分狀態(Hatfield *et al.*, 1984; Hatfield, 1990; Jackson *et al.*, 1977; Throssell *et al.*, 1987; Thunnissen and Nieuwenhuis, 1990).

農作物植體溫度的取得，可以利用溫度計(thermometer)(酒精式、水銀式及熱電偶式、熱電阻式等)接觸式的量測動態溫度(dynamic temperature)，或以熱紅外線輻射儀(thermal infrared radiometer)及熱紅外線輻射影像系統(thermal infrared imaging system)等量測輻射溫度 (radiant temperature or radiometric temperature)。輻射溫度的量測即屬於熱紅外線光譜遙測，依需要偵測特定的熱紅外線波段區間(如 3-5 μm、3-14 μm、8-12 μm 等)，其中熱紅外線輻射儀多以量測區間的總輻射量或輻射溫度，以單點測值表示；熱紅外線輻射影像系統則展示視窗的二維空間光輻射或輻射溫度分佈，又稱熱紅外線影像或熱像(thermogram or thermography)。輻測溫度的感測器可放置於不

同遙測平台，偵測不等農田面積大小。

二維熱像具有水平及垂直面向的若干像元測點，視硬體的解析度而定，從數百至數萬或數十萬不等。惟輻射溫度係偵測熱紅外線波段的光輻射量轉換成溫度讀值，因此將受到標的物至感測器之間的距離(空氣層)及當時的氣象狀況影響，也因爲標的物表層含水狀態(water status of the surface)而異。由熱紅外線輻射影像系統量測農作物的植被，可分別量取植被的水平及垂直剖面輻射溫度，配合環境因子的測定，可以做相關廣泛的溫度分析，亦可探討植被表層的能量平衡問題(Taconet *et al.*, 1995)。

(一)熱紅外線光譜影像遙測的應用及限制

無論是輻射光譜或熱紅外線光譜影像，均可應用於(1)農作物種類之判別、(2)農作物生育之估測與預測、(3)農作物逆境及與環境關係之評估、及(4)農作物產量之估測與預測等四方向，也居於(1)假設植被放射率是固定的，趨於1；(2)假設植被放射各波長之放射率均趨於1；及(3)假設晴朗天空之大氣穿透率大致趨於1等3項假設(assumptions)來進行光譜量測，如此以簡化許多客觀環境的干擾及計算過程的複雜，而獲得量化數據並進行定量分析。

由於田間自然狀況下偵測到的農作物光譜，包括農作物本身的放射輻射及入射光反射輻射，因而無可避免將受到太陽光及周遭物體光源的干擾。高於農作物植體動態溫度的太陽入射光及人工光源，將使得植被輻射溫度高於其動態溫度。反之，農作物受到周遭物體的遮陰或低於植體動態溫度的光輻射照射時，可能使得植被輻射溫度低於其動態溫度。此外，當逆境或災害發生時，外界因子所造成生理代謝的失調、外觀形態的改變、顏色與光澤的異常、或水分狀態的失衡等現象，將可能影響植被表面性質而牽動植被輻射溫度的定性變化，也可能影響入射光輻射量的反射與植體的吸收而引起植被輻射溫度的定量分佈。這些客觀因素加上如操作人員專業程度及感測器條件與設定等主觀因素，或將產生虛增或虛減的植被輻射溫度，成爲應用熱紅外線光譜影像遙測的限制。

(二)熱紅外線光譜影像遙測莧菜淹水狀態

農作物缺水現象的發生，一般係認爲作物根系對水分的吸收無法滿足蒸散消耗，或土壤中的水分含量不足以提供作物生長或生存的需求時引起。當缺少足量的水分可以經由蒸散作用(transpiration)將植體自身產生及外在附加的熱能帶出植體外時，邏輯上將因植體熱量未能正常逸釋而導致體溫的升高。如圖1的缺水稻株，隨著缺水程度的增加而加大植被輻射溫度的上升幅度。在此一案例中，植被的最低、最高及平均溫度均有升高趨勢，植被輻射溫度的分佈有往高溫頻率增加的現象。

相反的，當農作物因降水集中、長期降水或排水不良等原因產生淹水狀態時，亦將因爲根系無法正常運作而影響其正常生長的進行。淹水時間達到一定程度，將形成作物根系周圍的缺氧現象，接著引起一連串生理代謝及形態上的變化。情節輕微者，作物會試圖延長根系及伸長莖稈來接觸新的通氣空間，或增生氣根、多次根來擴張氣體的交換。在持續淹水下，則將關閉葉片氣孔以減少維持消耗及生長進行，可使原有莖葉凋萎老化而出現生長停滯或水傷徵狀。危害顯著者，將因根系腐爛及生理代謝無以爲繼等而顯示如脫水枯萎徵狀，終至植株死亡。

本研究將盆栽(1.1 m長、1.0寬、0.6 m高)莧菜植株栽培至預定採收前10天，開始施予不等淹水天數處理，從淹水9天減至淹水1天，且以不淹水之正常栽培爲對照組，計有10種處理。圖2爲預定採收日量測的部分熱紅外線光譜影像及可見光影像，包括對照組(CK)、淹水1天、淹水3天、淹水5天、淹水

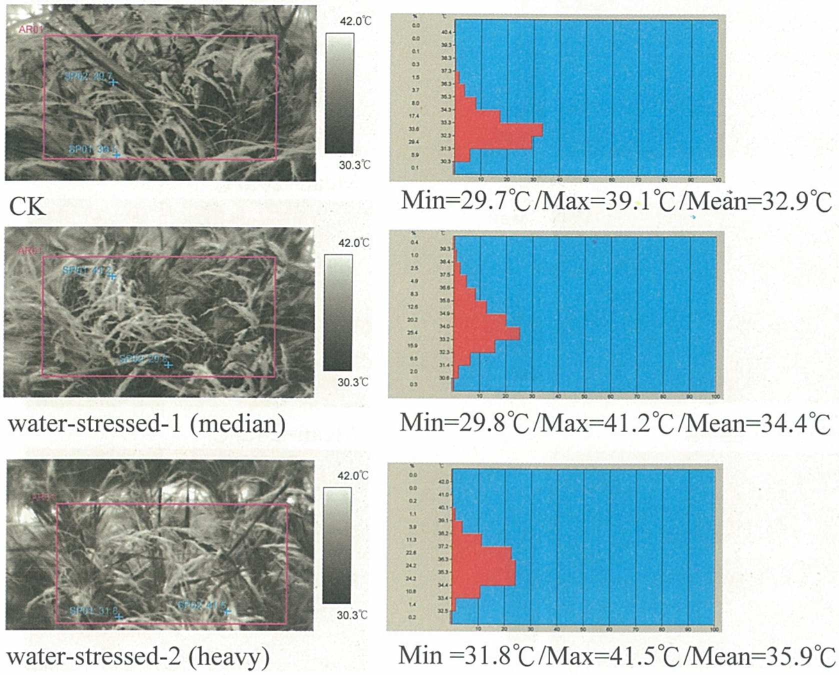


圖 1. 缺水稻株植被熱紅外線影像及輻射溫度分佈之改變。

9 天及去除莧菜的對照組裸露土等。量測當時背景溫度介於 26-30.4℃之間，瞬時氣溫在 26.5-32.1℃之間，對照組視窗平均輻射溫度爲 29.0℃(背景溫度 29.4℃、氣溫 31.0℃)，淹水 1 天及 3 天的視窗標的區平均輻射溫度分別爲 28.5℃及 26.5℃，顯示淹水引起降溫趨勢。淹水 5 天已出現植株的顯著凋萎及死亡，視窗標的區平均輻射溫度爲 27.8℃，顯示受到裸露土溫的影響。淹水 9 天之莧菜植株多已死亡，水分飽和土壤視窗的平均輻射溫度爲 23.3℃，遠低於對照組裸露土視窗平均輻射溫度 30.6℃。這驗證了含水飽和的土壤具有較大的熱容量及較低的光輻射反射率，使其土壤輻射溫度低於含水量未達飽和的常態裸露土壤的輻射溫度。

由此可知，正常生長的莧菜植被輻射溫度低於裸露的土壤輻射溫度及氣溫，顯示莧菜植株維持既有的蒸散功能，可以將體溫降低至周遭溫度以下。淹水將可能因提高植體水分含量及冷卻土壤溫度，降低莧菜植體的輻射溫度。然而在溫暖天氣下淹水超過 4 天，將使莧菜出現顯著的淹水危害。在淹水危害導致莧菜植株萎凋死亡時，植被的輻射溫度將受到土壤溫度干擾，此時不宜再以輻射溫度評估莧菜的淹水狀態。

淹水除了使得莧菜植被平均輻射溫度下降，也可能降低植被輻射溫度的最低值、最高值及溫度頻率的分佈，端視淹水天數(程度)而定。如圖 2 所示，正常生長之莧菜植被輻射溫度平均值 29.0℃、最低值 26.1℃、最大值氣溫 35.8℃，淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度平均值 26.5℃、最低值 22.0℃、最大值氣溫 30.3℃，，無論平均值、最小值及最大值均因淹水而降低。兩處理之輻射溫度的頻率分佈也不相同，淹水 3 天使得植被輻射溫度的分佈往低溫移動，偏向較低溫分佈(圖 3)。

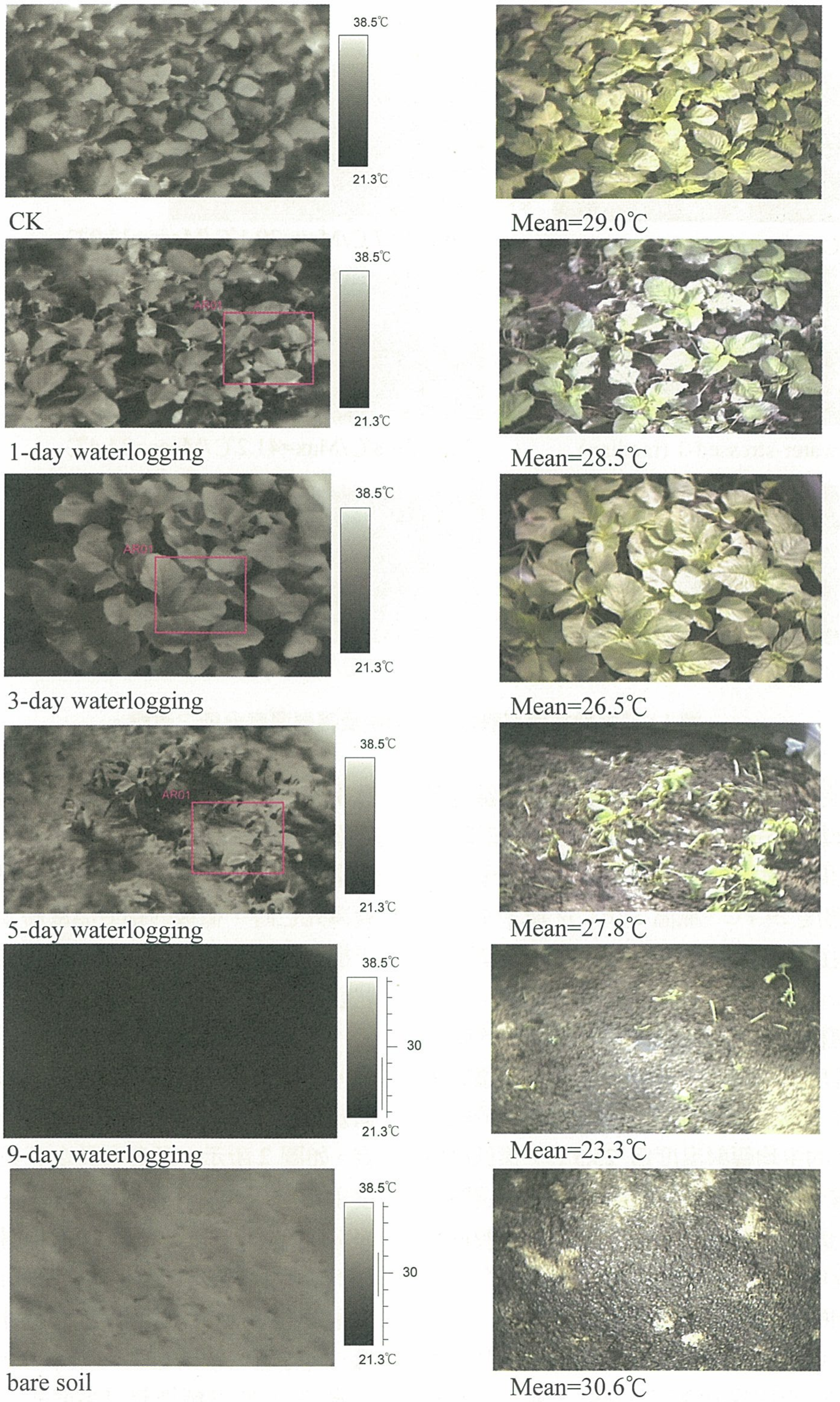
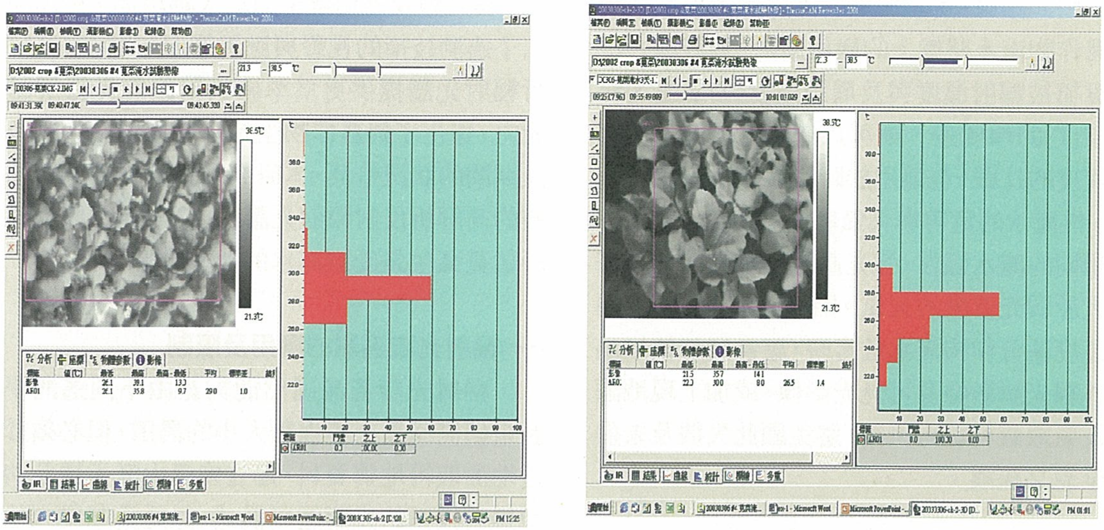


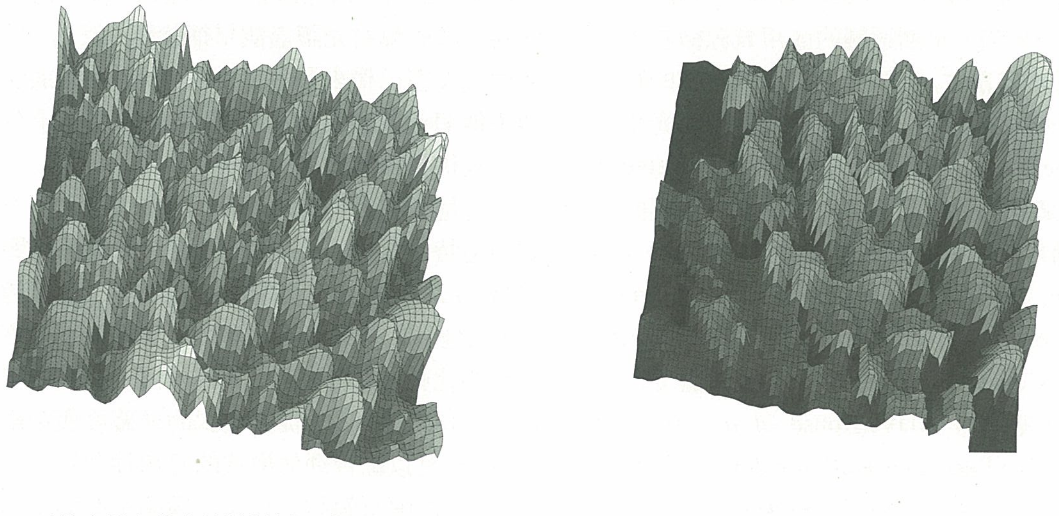
圖 2. 不等淹水程度(天數)造成莧菜(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)危害及植被輻射溫度的改變(2003/03/06)。



(A)正常生長之莧菜植被輻射溫度; (B)淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度。

圖 3. **淹水** 3 **天造成莧菜**(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)**植被輻射溫度的改變**(2003/03/06)。

藉由影像分析軟體的處理，尚可將莧菜植被輻射溫度分佈以三維空間方式呈現，如此可以更清楚的顯示植被溫度的空間分佈態勢及梯度階層，土壤背景也一覽無遺。由圖 4 正常生長及淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度的三維空間分佈，彰顯出植被視窗相對位置的溫度差異及變化，並提供絕佳的視覺效果。再由臨界溫度的設定，亦可以大致分別植被與土壤區間，有助於各類別涵蓋面積的估測。



(A)正常生長之莧菜植被輻射溫度; (B)淹水 3 天之莧菜植被輻射溫度。

圖 4. **正常生長及淹水** 3 **天之莧菜**(*Amaranthus mangostanus*, cultivar TNG 1)**被輻射溫度之三維空間分佈** (2003/03/06)。

由此結果，可看出熱紅外線光譜影像在辨識農作物淹水狀態上的應用潛力，倘若進一步計算植被輻射溫度與及周遭溫度(如氣溫、背景溫度)的梯度差，則可以在相對環境下做淹水程度的比較，也適用於時間序列的追蹤與監測。惟淹水的危害與天氣狀況具有極大關係，在相同的淹水條件，強光高溫環境造成的危害遠大於弱光低溫的天氣。因此，欲利用植被輻射溫度區分作物淹水危害時，應當同時輔以熱紅外線光譜影像及可見光影像，或加上現地調查及氣象資料綜合研判，避免顧此失彼及未盡窺全貌之疏誤。

三、由輻射光譜遙測評估莧菜淹水狀態

輻射光譜遙測同樣可應用於農作物生產管理流程，評估農作物的生長狀態。惟在運用輻射光譜遙測之前，宜先熟知農作物植被的輻射光譜性質，同時釐清植被外觀物理徵狀有關的光譜特徵波段及其邏輯意義，再建立合適的光譜遙測模式於後續的評估用途(Gates *et al.*, 1965; Gausman *et al.*, 1981; Rouse *et al.*, 1974; Tucker *et al.*, 1979; Wiegand *et al.*, 1991; Yang and Su, 1997)。早期運轉的商用資源衛星多以寬頻感測器爲主，依照各波段與農作物的物理及化學特性的直接、間接關係，發展出光譜指數(spectral index)或稱植被指數(vegetation index)來組合邏輯運算式賦予估測與追蹤的功能，通常選用 1-3 個特徵波段 (Anderson and Hanson, 1992; Baret and Guyot, 1991; Elvidge and Chen, 1995; Gilabert *et al.*, 1996; Huete, 1988; Wiegand *et al.*, 1990)。如選用紅光及近紅外光波段的 NDVI(Rouse *et al.*, 1974)及 SAVI(soil-adjusted vegetation index，土壤校正植被指數)(Huete, 1988)即是，因其具有降低光源背景干擾的作用及計算簡易特色而廣受歡迎。近幾年高解析資源衛星資料也邁入商業化，其光譜及幾何解析力均大幅增高，更加開拓了遙測技術的視野與應用層面。也因爲高解析輻射光譜提供更爲準確與精確的光譜解讀能力，強化了對農作物生長狀態的現況估測及長期間的狀況監測，本研究乃以近地面莧菜植被的高解析反射輻射光譜，來探討淹水狀態及評估莧菜生長受到淹水的負面影響。

(一)輻射光譜遙測的應用及限制

輻射光譜遙測固然能夠藉由不同遙測平台來偵測涵蓋不等面積大小的農田，但必須於近地面取得地真資料，建立未受大氣干擾及勿須幾何校正的光譜遙測模式。以此爲基礎來檢驗及改正高大氣尺度的航空及太空遙測平台的遙測資訊及遙測模式，因爲感測器距離被測標的物愈長、愈高或愈遠，輻射光譜及影像的扭曲就愈嚴重，必須對大氣干擾、經緯度對位、幾何偏歪、輻射光源及機件設定等逐一校正。其次，對農作物而言，不同的狀況卻可能造成相同或類似的植被外觀徵狀，所以常需要配合地面的查驗核對，由地面的取樣調查確認其眞僞虛實。又農作物在遭受逆境或災害作用的初期，雖然其內在影響已經開始，卻不易由外觀徵狀的輻射光譜遙測早期診斷。反之，當逆境或災害已帶來嚴重災情時，輻射光譜遙測卻不能將超過飽和臨界點的損害程度再予分級，提供更爲細緻的分類。

近地面進行的光譜遙測，通常係以人爲方式製造特定目標的不同等級狀況，由觀測級距造成的光譜差異及相關的光譜特徵波段變化，來建立光譜遙測模式芻型。再經過多年期資料的比較、驗證與修正，增加模式對環境與特定目標的適用性，提高模式的準確度與精確度，同時具以綜合評估模式的實用性和經濟效益。由於高解析輻射光譜及影像衛星的商業運轉愈來愈普遍，在資料取得經費逐漸下降的趨勢下，預料將更爲突顯光譜遙測技術應用於農

業生產的潛力和發揮空間。我國華衛二號衛星若能於 2003 年底順利發射升高，開使其正常業務運轉，光譜遙測在國內的應用前景將一片光明，相信在包括農業生產方面的研究與實用也更將蓬勃發展。

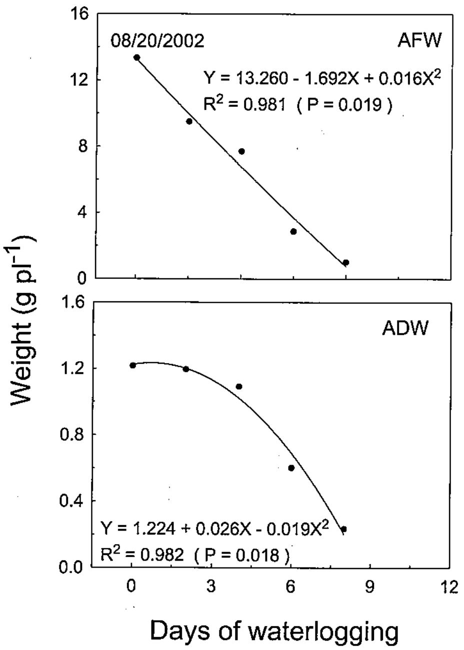


圖 5. **莧菜**(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)**地上部植體鮮重及乾重隨著淹水天數增加而下降的情形**。

(一)輻射光譜遙測應用於監測莧菜的淹水狀態

農作物植被反射比光譜曲線，在常態環境下全生育期的變化長常會呈現規則性波動，惟當環境異動時將出現質與量上的不同，顯示光譜的改變可能受到外在環境影響。因此，欲獲得完整的分析資料，應當收集作物常態與非常態的光譜，由其間的差異瞭解光譜質與量上的改變。本研究由不等淹水天數的處理，發現莧菜地上部植被的鮮重及乾重均隨著淹水天數的增加而下降(圖 5)，生質量的降低反應出植株生長衰退、植體萎凋的發生，加上顏色的變異，因此植被反射輻射光譜必然也出現顯著變化。果然由圖 6 不等淹水天數量測到的平均值反射比光譜曲線，顯示淹水程度的升高將增加可見光的反射比而降低近紅外光至中紅外光的反射比，呈現淹水造成的光譜曲線差異；即淹水使得莧菜光合能力趨弱、生質量減少及覆蓋率下降。當淹水天數達到 8 天時，莧菜植株幾已萎凋或死亡，植被光譜受到土壤干擾的效應非常明顯，因此部分波段將因嚴重影響而不宜採用。

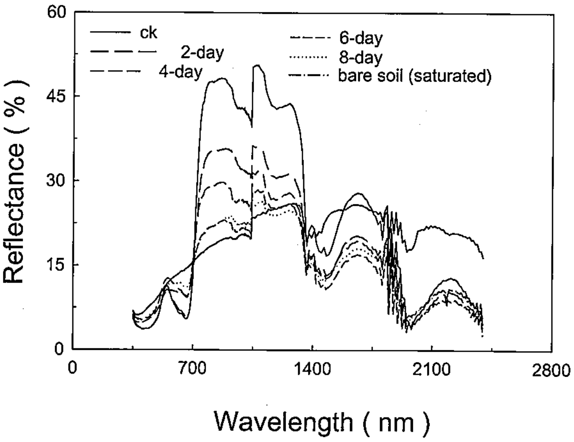


圖 6. **不等淹水天數造成莧菜**(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)**植被平均反射比光譜曲線的改變**。

經由植被光譜分析，發現光譜之 665 nm 及 765 nm 窄波段位置之反射比受到不等淹水天數的影響，呈現直線變化(圖 7)。其中 665 nm 之反射比隨淹水天數的增加而上升，反應出光合能力的降低；765 nm 之反射比則隨淹水天數的增加而下降，顯示植被生質量及覆蓋率的減少。於是，可以由此二窄波段反射比的變化，瞭解莧菜的淹水狀態，以及莧菜植株外觀徵狀及內在生理代謝受到的影響。

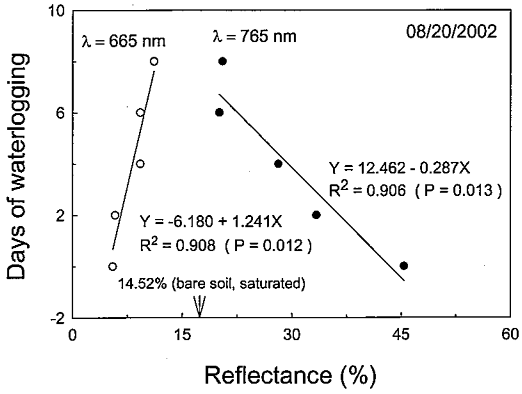


圖 7. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)植被反射光譜之 665 nm 及 765 nm 窄波段位置之反射比受到不等淹水天數的影響。

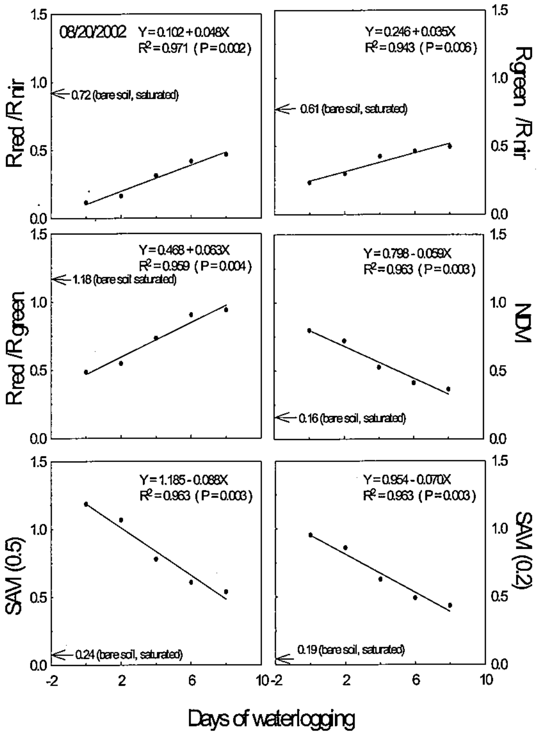


圖 8. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)植被光譜計算之光譜指數值(Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen, NDVI, and SAVIs)受到不等淹水天數的影響。 其中 SAVI 之比重因子有 0.5 及 0.2 二項比較

續又利用莧菜植被光譜中的綠光波段波峰(green)、紅光波段波谷(red)及近紅外光波段頂點(nir)等光譜特徵窄波段位置之反射比，計算光譜指數 Rred/Rnir、 Rgreeg/Rnir、Rred/Rgreen 及 NDVI，並以 0.5 及 0.2 二項比重因子計算 SAVI，發現這些光譜指數均受到淹水天數的影響(圖 8)。顯然淹水對莧菜植株負面危害及造成植被光譜改變之間具有密切關係，除了前述紅光及近紅外光波段代表的意義之外，也引起可見光的變異。從植被外觀顏色上的比較，生理代謝可能的不同，以及植體含水狀態的差別，皆是淹水影響可見光的潛在原因，尤其與葉綠素濃度有關的綠光波段吸收及反射特性。由圖示，其中 Rred/Rnir、Rgreeg/Rnir 及 Rred/Rgreen 與淹水天數之間呈現直線正相關，NDVI 及 SAVI 與淹水天數之間則爲直線負相關。由於淹水對這些光譜特徵波段及光譜指數的影響，反過來可經由這些光譜特徵波段的反射比及光譜指數的比值升降，來推估莧菜的淹水狀態及淹水程度。

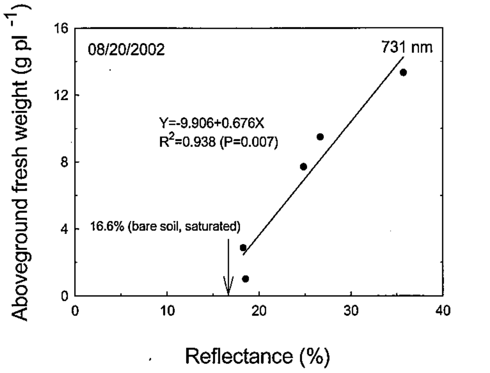


圖 9. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重與光譜特徵窄波段 731 nm 位置之反射比之相關。

除了單一窄波段的密切關係，基於上述的理論邏輯，莧菜地上部植體鮮重與適當的光譜指數之間亦將具有適度的相關。圖 10 顯示 Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen 及 NDVI

等光譜指數與莧菜地上部植體鮮重具有顯著的直線關係。由於淹水下生質量的減少反應出 nir 的下降及 red 與 green 的上升，因此莧菜地上部植體鮮重與 Rred/Rnir 及 Rgreeg/Rnir 皆爲負相關，而與 NDVI 則爲正相關。與 Rred/Rgreen 之關係爲負向，表示 green 反射比上升的幅度大於 red 反射比者。

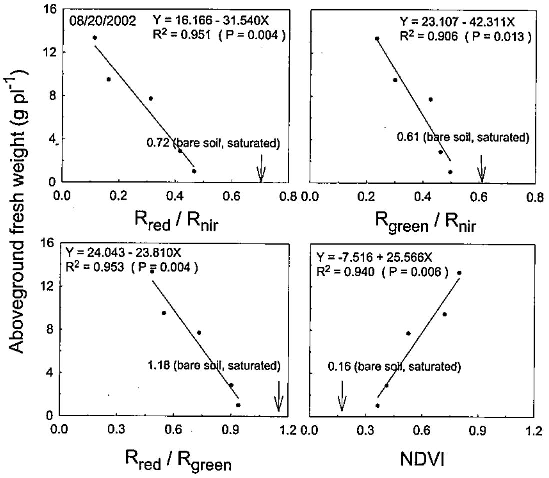


圖 10. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重與光譜指數 Rred/Rnir, Rgreeg/Rnir, Rred/Rgreen 及 NDVI 之相關。

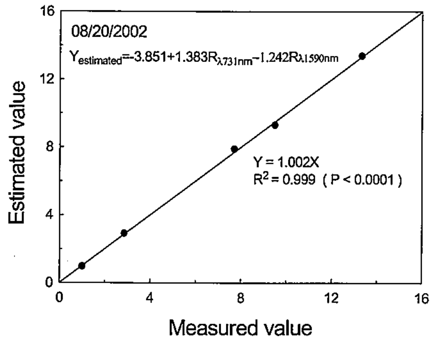


圖 11. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cultivar Tainung 1)地上部植被鮮重利用二元線性複迴歸模式之估測值與實測值之比較。

爲提高光譜模式涵蓋試驗資料之變異性，再進行多元直線複迴歸分析，由統計軟體 SAS 8.1 進行共線性分析及逐步迴歸分析，找出波段組合使得決定係數大於 0.95 的多元直線迴歸模式。結果發現，由 731 nm 及 1590 nm 二窄波段反射比組合的二元直線迴歸模式，其對莧菜地上部植體鮮重的估測值與實測值相關達到 R^2=0.999(P<0.0001)，非常接近 1:1 之直線關係。

綜合本研究結果，顯示可由莧菜植被反射光譜篩檢出特定的光譜特徵波段，分由單一窄波段、光譜指數及二元直線迴歸模式進行對植株淹水狀態與生長影響的評估。在本項試驗舉例中，組合二個光譜特徵波段之二元直線迴歸模式確可提高估測的準確度。

四、結語

經過近六、七年來試驗研究，作者已由研究結果瞭解光譜遙測的應用層次與其限制，經證之於文獻報告亦有相同結論。由莧菜的淹水狀態探討，以及在水稻的其他研究，如陳及楊(2002)和楊及陳(2003)篩檢出多元直線迴歸模式提高對生長的估測，陳及楊(2003)由植被高解析反射光譜計算之 NDVI 間接預測水稻的產量，張及楊(2003)之多元線性迴歸模式獲得對稻株氮素含量相當程度的估測，其他光譜特徵辨識遭受瘤野螟及稻熱病危害(楊等，2002)、感染褐飛蝨(Yang and Cheng, 2001)、及缺水逆境區分(Yang and Su, 2000)等，均有正面的研究結果。因此，只要作物植被的色澤、組織結構、組成分及生理代謝的表現影響其反射光譜特性時，無論係自身的生育進展或環境造成，均將反應在作物植被反射光譜的質與量變化，皆可利用輻射光譜遙測予以偵(檢)測。惟在限制因子的排除與拿捏，結果的解釋與應用上，仍仰賴研究人員的專業素養和具體實踐。

五、誌謝

本文有關作者之試驗研究，承蒙行政院農業委員會和國家科學委員會的計畫經費補助，特以表示由衷感謝。

六、引用文獻

陳榮坤 楊純明. 2002. 以近地面高解析植被光譜及模擬 SPOT 衛星寬頻光譜估測水稻生長性狀的變化. 中華農業研究 51(4):1-18.

陳榮坤、楊純明。2003。由植被高解析反射光譜模式化水稻之產量。p.25-34。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

張芳銘、楊純明。2003。由植被高解析反射光譜模式化稻株之氮素含量。p.35-42。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

楊純明、鄭清煥、張義璋、余志儒。2002。利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及褐飛蝨之危害。p.1-18。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。2002。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

楊純明、陳榮坤。2003。由植被高解析反射光譜模式化水稻之生長。p.13-24。水稻精準農業體系。楊純明；林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所出版，臺中縣。

農業統計年報。2001。行政院農業委員會編印，臺北市。452pp。

Anderson, G.L., and J.D. Hanson. 1992. Evaluating hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above ground biomass. Geocarto Intl. 1:71-78.

Baret, F., and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sens. Environ. 35:161-174.

Barrett, E.C., and L.F. Curtis. 1982. Introduction to Environmental Remote Sensing. 2nd ed. Chapman and Hall, London. 352pp.

Berry, J. A. and J. K. Raison. 1981. Response of macrophytes to temperature. p.277-338. *In*: Encyclopedia of plant physiology 12A, Physiological plant ecology. I. Response to the physical environment.. Springer-Verlag, Berlin.

Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades and E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. Crop Sci. 32: 1225-1232.

Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades and E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. Crop Sci. 32: 1225-1232.

Elvidge, C.D., and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54:38-48.

Gates, D.M., H.J. Keegan, J.C. Schleter, and V.R. Weidner. 1965. Spectral properties of plants. Appl. Opt. 9:545-552.

Gausman, H.W., W.A. Allen, D.E. Escobar, R.R. Rodriguez, and R. Cardenas. 1981. Age effects of cotton leaves on light reflectance, transmittance, and absorptance and on water content and thickness. Agron. J. 63:465-469.

Gilabert, M.A., S. Gandia, and J. Melia. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. Remote Sens.

Environ. 55:11-20.

Hatfield, J. L., R. J. Reginato and S. B. Idso. 1984. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. Agric. For. Meteorol. 32: 41-53.

Hatfield, J. L. 1990. Measuring plant stress with an infrared thermometer. HortScience 25: 1535-1538.Hodges, T. 1991. Temperature and water stress effects on phenology. p.7-13. In: Predicting crop phenology. T. Hodges, ed. CRC press, Boca Raton, FL., USA.

Hodges, T. 1991. Temperature and water stress effects on phenology. P.7-13. In: Predicting crop phenology. T. Hodges, ed. CRC press, Boca Raton, FL., USA.

Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25:295-309.

Jackson, R. D., R. J. Reginato and S. B. Idso. 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water Resour. Res. 65: 651-656.

Johnson, I. R. and J. H. M. Thornley. 1985. Temperature dependence of plant and crop processes. Ann. Bot. 55: 1-24.

Prasad Ed., M.N.V. 1997. Plant Ecophysiology: Flooding. John Wiley &Sons, New York.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradiation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III report. Greenbelt, MD, USA. 371pp.

Taconet, O., A. Olioso, M. Ben Mehrez and N. Brisson. 1995. Seasonal estimation of evaporation and stomatal conductance over a soybean field using surface IR temperatures. Agric. For. Meteorol. 73: 321-337.

Throssell, C. S., R. N. Carrow and G. A. Milliken. 1987. Canopy temperature based irrigation scheduling indices for Kentucky bluegrass turf. Crop Sci. 27: 126-129.

Thunnissen, H. A. M. and G. J. A. Nieuwenhuis. 1990. A simplified method to estimate regional 24-h evapotranspiration from thermal infrared data. Remote Sens. Environ. 31: 211-225.

Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. 8:127-150.

Wiegand, C.L., S.J. Mass, J.K. Aese, et al. 1990. Multisite analyses of spectral-biophysical data for wheat. Remote Sens. Environ. 42:1-21.

Wiegand, C.L., A.J. Richardson, D.F. Escobar, and A.H. Gerbermann. 1991. Vegetation indices in crop assessment. Remote Sens. Environ. 35:105-119.

Yang, C.-M., and M.-R. Su. 1997. Analysis of reflectance spectrum of rice canopy. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 4:87-95.

Yang, C.-M. and M.-R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. Pp.13-18. In: Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing. 4-8 December 2000, Taipei. National Central University/ Chinese Taipei Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Chungli.

Yang, C.-M. and Y.-C. Cheng. 2001. Spectral characteristics of rice plants infested by brown planthopper. Natl. Sci. Counc. ROC (B)25:180-186.

Using Spectral Remote Sensing to Monitoring Water-logging Status of *Amaranthus mangostanus*

Chwen-Ming Yang
Division of Agronomy, Agricultural Research Insitute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

This paper describes the applications and limitations of using spectral remote sensing to monitoring crop growth status in the field, and the utilization of reflectance spectrum and thermal infrared image to evaluate water-logging status of *Amaranthus mangostanus*. In conclusions, it is found that when crop is affected by the changes of physiological metabolism and morphological modification due to growth development or environmental impacts, it may cause variation in canopy reflectance spectrum qualitatively and quantitatively. Such phenomenon can be detected by the techniques of spectral remote sensing. The ability to avoid the limitation factors and provide the suitable interpretation is based on the expertise of researchers.

Key words: Spectral remote sensing, *Amaranthus mangostanus* 、Production monitoring, Water-logging status.